

水素スタンドの放出管に関連する高圧ガス事故の注意事項

高圧ガス保安協会

1. 目的

圧縮水素スタンド(以下「水素スタンド」という)は、平成 26 年 6 月に策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」により、2025 年度までに 320 カ所程度の設置を目標とされ、その目標を達成するための取組みが進められてきた。その後、Tokyo Statement(東京宣言)(平成 30 年 10 月)などが策定、公表されたことを踏まえて、平成 31 年 3 月に新たな「水素・燃料電池戦略ロードマップ」が策定され、その目標達成に向けた取組みが加速している。また、令和 2 年 12 月に公表された「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(成長戦略会議)では、水素産業を、2050 年カーボンニュートラルを目指す上で取組みが不可欠な重要分野の一つとして位置付けられた。そして、水素の利活用促進を通じて産業競争力強化と温室効果ガスの排出削減の同時達成を目指すために、今後、実行計画を策定して着実に取り組んでいく方針が示された。

さらに、令和 3 年 6 月 18 日には、「成長戦略実行計画」が策定された。具体的には、燃料電池自動車、燃料電池バスおよび燃料電池トラックの普及を見据え、2030 年までに 1,000 基程度の水素スタンドを、人流、物流を考慮しながら最適な配置となるように整備すること、また、バス、トラックなどの商用車向けの水素スタンドを、事業所専用の充電設備を含めて、整備することが示された。

しかしながら、水素スタンドは、これまで経験したことのない常用圧力 82MPa の超高压水素を用い、市街地での設置が進められており、これまで設置されてきた液化石油ガススタンド(常用圧力約 2MPa)および圧縮天然ガススタンド(常用圧力約 25MPa)と比べても圧力が著しく高く、高压の水素は、外部へ噴出・漏えい(以下「漏えい」という)しやすい特徴がある。さらに、水素は、空気中の爆発範囲(4vol%~75vol%)が広く、最小発火エネルギー(0.02mJ 程度)も低いので、他のガスと比較して漏えい後に爆発、火災が発生しやすい。また、着火した場合、火災を視認することが容易でない。したがって、災害が発生した場合には、周囲に著しい被害を及ぼす恐れがある。

このために、過去数年間にわたり継続して、水素スタンドにおける高圧ガス事故の統計と解析の結果を示し、水素スタンドにおける高圧ガス事故の未然防止に向けて問題点を抽出し、今後の対策を図るための注意事項をとりまとめた。本年度は水素スタンドの放出管に関連する事故に焦点を当て、高圧ガス事故の未然防止に向けて問題点を抽出し、今後の対策を図るための注意事項をとりまとめる。

2. 水素スタンドにおける事故の抽出

平成 14 年度から、水素燃料電池実証プロジェクトにより燃料電池自動車(以下「FCV」という)と水素スタンドの実証を開始したことを踏まえ、高圧ガス事故データベース¹⁾を用いて、平成 14 年から令和 3 年までの 20 年間で発生した喪失、盗難を除いた高圧ガス事故(以下「事故」という)8,069 件のうち、水素スタンドにおける事故 187 件を抽出した。

抽出にあたっては、高圧ガス事故事例データベースの内容をそのまま使用するのではなく、精査して、必要に応じて見直した²⁾。

本報告における水素スタンドの定義を、次の①~④に示す。水素スタンドは、商用に限定せ

ず、自家用、研究設備なども含む。

- ① 平成 17 年 3 月 24 日公布(平成 17 年 3 月 31 日施行)の省令で定義された「特定圧縮水素スタンド」
- ② 平成 24 年 11 月 26 日公布、同日施行の省令で定義された「圧縮水素スタンド」
- ③ 平成 28 年 2 月 26 日公布、同日施行の省令で定義された「移動式圧縮水素スタンド」
- ④ 「特定圧縮水素スタンド」または「圧縮水素スタンド」に類似する製造施設

3. 水素スタンドにおける事故の統計

平成 14 年から令和 3 年までの 20 年間の水素スタンドにおける事故件数と設置数を、表 1 に示す。

水素スタンドの設置数は、平成 14 年から平成 25 年までの黎明期を経て、平成 26 年の 50 施設から、平成 29 年の 153 施設までの 3 年間で約 3 倍に増加し、令和 3 年では 219 施設に達した。スタンド設置数の増加に伴い、事故件数も黎明期の突発的な事故を経て、平成 26 年から平成 27 年にかけて施設数が 2 倍以上に急増したことに伴い、平成 27 年と平成 28 年の事故件数も前年の 3 倍に増加した。しかし、平成 28 年を最高の事故発生件数として、施設数は年々増加している一方で、事故件数は高止まりの状況である。

なお、平成 28 年から平成 30 年までの 3 年間と令和元年(平成 31 年)から令和 3 年までの 3 年間を比較すると、事故件数が減少している。これは、高圧ガス・石油コンビナート事故対応要領に規定される事故の定義が、平成 30 年 12 月 21 日に改正(平成 31 年 1 月 1 日から施行)され、漏えい箇所が締結部、かつ、可燃性ガスの漏えいが微量の場合、事故の定義から除外された影響と推察される。

表 1 平成 14 年から令和 3 年までの水素スタンドにおける事故件数と設置数

| 和暦 | H 14 | H 15 | H 16 | H 17 | H 18 | H 19 | H 20 | H 21 | H 22 | H 23 | H 24 | H 25 | H 26 | H 27 | H 28 | H 29 | H 30 | H31/ R1 | R 2 | R 3 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-----|-----|
| 年間事故 発生件数 ⁱ⁾ | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 6 | 7 | 4 | 12 | 32 | 28 | 22 | 23 | 19 | 22 |
| スタンド 設置数 (累計) ⁱⁱ⁾ | 5 | 7 | 11 | 11 | 16 | 19 | 19 | 19 | 23 | 28 | 28 | 33 | 50 | 107 | 134 | 153 | 171 | 187 | 210 | 219 |

i) 水素スタンドで 1 年間に発生した事故件数。

ii) 自家用、研究用、第 2 種製造、移動式製造設備も含む。この水素スタンド設置数は、第一種製造者にあつては完成検査を受けた件数、第二種製造者にあつては届出が出された件数を前年の件数に加算し、廃止の届出を受けた件数を翌年の件数から減算した。

4. 水素スタンドの放出管

水素スタンドの放出管は、次の技術基準により設置されている。

(1) 設置目的

水素スタンドのばね式安全弁、破裂板(以下「安全装置」という)および安全装置が作動する前に圧力上昇時に自動的に圧力を放出するための機能を有する装置(以下「圧力リリーフ弁」という)には、放出管を設けることが規定されている。これは、これらの安全装置および圧力リリーフ弁が作動した場合、ガスの多量放出による二次災害を防止するためである。

放出管は、安全装置および圧力リリーフ弁ごとに設けてもよいが、水素スタンドの多くは、敷地

面積が広くなく、規模も小さいため、放出管は集合して開口部を1箇所にとめている場合が多い。そのため、自動車への充填後に脱圧した水素ガス、トレーラーおよびカードルでの受入れの際のパージした水素ガスなども、放出管が集合されている場合には、全て同じ開口部から放出される。

(2) 機能

法令上、明確に定められていないが、高圧ガス設備の系内から放出された水素を安全に大気放出させることができる機能が求められる。

(3) 技術基準

水素スタンドの放出管の省令における技術基準では、放出管の開口部を、放出するガスの性質に応じた適切な位置とすることが規定されている。

具体的には、一般高圧ガス保安規則およびコンビナート等保安規則の機能性基準の運用について(以下「例示基準」という)では、「安全弁、破裂板及び圧力リリーフ弁の放出管開口部の位置」⁴⁾⁵⁾として、地盤面から5m以上の高さが規定されている。

5. 水素スタンドの放出管に関連する事故の解析

水素スタンドにおける事故187件の事故概要を確認し、放出管に関連する事故5件を抽出した。放出管に関連する事故の概要を、表2に示す。

放出管に関連する事故5件を解析した結果、放出管からの漏えい③が3件、火災が2件であった。漏えい③(3件)は、PLC(システム制御機器)が誤作動により停止し、異常時開の設定の圧力リリーフ弁が開となり、蓄圧器内の水素が放出管から漏えいした2件、流量調整用手動弁の調整不備により水素が急激に放出管へ漏えいした1件である。火災(2件)は、圧力リリーフ弁から水素を放出中、着火に至った。

以上から、系内の水素が大気に放出される場合、放出管を経由していることが分かる。しかし、水素は最小発火エネルギーが低いため、放出管から放出中に着火する可能性がある。したがって、放出管開口部の位置が重要となる。また、水素の火炎を視認するのは困難であるため、放出された水素の着火にも、十分に注意する必要がある。

表2 水素スタンドの放出管に関連する事故の概要

| No. | 事故コード | 事故概要 | 事故発生事象 | 事故発生原因 |
|-----|----------|--|----------|--------|
| 1 | 2016-082 | <p>容器充てん用ディスペンサー周りの「遠隔自動脱圧」のため、事務所内制御盤から現場と連絡を取り合いながら「脱圧ボタン」を操作した。直後に、FCV 用ディスペンサー安全弁および 82MPa 蓄圧器安全弁から、水素と水封安全器内のシール水が放出配管開口部から噴出し、放出音が発生し、放出配管に曲げ力が作用し、放出配管先端部が変形した。</p> <p>容器充てん用ディスペンサー自動弁を用いて脱圧操作をしたところ、放出流量調整用手動弁の調整不備により、急激に水素ガスが放出ラインへ流入し、FCV 用ディスペンサー安全弁および 82MPa 蓄圧器安全弁が作動し、水素ガスが放出され、水封安全器のシール水を巻き込んだ水素ガスにより、放出配管が変形したと推定される。</p> | 漏えい ③ | 組織運営不良 |
| 2 | 2020-039 | <p>PLC(システム制御機器)の CPU(中央処理装置)にエラーが発生し、機能停止により蓄圧器の3つの圧力リリーフ弁がノーマルオープンタイプのため開放し、処置完了までの27分間に蓄圧器内の水素19kg(計算値)がベントスタックから放出された。</p> | 漏えい ③ | 設計不良 |
| 3 | 2020-479 | <p>営業終了後、常時監視を行っている PLC(システム制御機器)が停止したことにより、異常時開の設定の圧力リリーフ弁が開き、放出管から蓄圧器内の水素が放出された。その場で、閉店作業中の従業員により、停止措置が行われた。PLC 構成機器の一つであるアナログ入力モジュールが、一時的に認識されなくなったことによる通信不良で、PLC が停止し、異常時開の設定であった圧力リリーフ弁が開となり、蓄圧器内の水素ガスが放出された。</p> | 漏えい ③ | 設計不良 |
| 4 | 2021-356 | <p>液化水素貯槽は安全な圧力で運用できるように、圧力リリーフ弁(背圧弁)と自動放出弁を設置している。今回の事象は、圧力リリーフ弁(背圧弁)の作動により水素ガスを自動放出中に、放出管出口で着火した。その際、火炎を発見した近隣住民が消防本部へ通報し、消防からこの圧縮水素スタンドの保安監督者へ連絡があった。保安監督者が現地へ向かい、圧力リリーフ弁(背圧弁)の元弁を閉止(ガス放出を停止)して消火を確認した。</p> <p>なお、放出管はフレームアレスター(逆火防止器)付きであり、逆火もなく液化水素貯槽および他設備の破損、異常などはなかった。設備側を点検した結果、異常はなく、火気の原因はなかった。当日は雷雨であったことから、落雷による放電現象が発生し、放出管出口の水素へ着火したと推測される。</p> | 火災 | 自然災害 |

| No. | 事故コード | 事故概要 | 事故発生事象 | 事故発生原因 |
|-----|----------|--|--------|-------------|
| 5 | 2021-385 | 圧力リリーフ弁(背圧弁)の作動により、水素ガスを自動放出中に放出管出口で着火した。保安監督者が到着後、圧力リリーフ弁(背圧弁)元弁を閉止(ガス放出を停止)し、消火を確認した。 なお、液化水素貯槽および他設備の破損、異常などはなかった。 | 火災 | その他(不明、調査中) |

6. 海外の水素スタンドの放出管に関連する事故

海外の水素スタンドにおける事故でも、放出管に関連する事故が報告されている⁶⁾。事故の概要を、表3³⁾に示す。

この事故では、水素適合性のない材質を使用した放出弁が、水素損傷により破損し18本全ての蓄圧器から水素が全量放出し、放出管出口で着火に至り、大きな被害が発生した。しかし、事故の詳細を検証した結果、高圧ガス保安法の技術基準に適合した材料を選定し、システムの設計および情報の伝達を適切に行っていれば、起こる可能性が極めて低い事故であった。

表3 海外の水素スタンドの放出管に関連する事故の概要

| | |
|--------|--|
| 事故発生日時 | 2012年(平成24年)5月4日 午前7時45分 |
| 事故発生場所 | 米国カリフォルニア州エメリービル市 |
| 被害状況 | 近隣住民および中学校へ避難命令、小学校へ待機命令、屋根(燃焼) |
| 発生設備 | 水素スタンド、放出弁(圧力リリーフ弁) |
| 事故概要 | 蓄圧器に設置された放出弁が破損し、全ての蓄圧器(18本)から全量の水素が放出された。放出管出口で着火し、火災となった。 |
| 事故原因 | <p>(1) 材料選定 水素適合性がないマルテンサイト系ステンレス鋼(SUS440C相当材)が、放出弁の耐圧部材に使用されていた。その結果、放出弁の設定圧力(54MPa)以下で、安全弁の耐圧部材が水素損傷により破損し、放出弁から大量の水素が漏えいした。</p> <p>(2) システムの設計 放出弁のうちのどれか1個が破損すると、18本すべての蓄圧器から水素が放出される構造となっていた。また、放出管が隣接する屋根に対して十分な高さに設定されていなかったため、水素スタンド屋根の塗料のほこりが燃焼した。</p> <p>(3) 情報の伝達 消防緊急司令官に、設備のシステム情報が適切な時に伝達されていなかった。その結果、事故発生後15分後に知ることができた貯蔵システムの圧力低下の情報は、事態が深刻化するまで消防緊急司令官に伝達されなかったため、事故収束までに2時間15分を要した。</p> |

| | |
|------|--|
| 国内基準 | <p>(1) 材料選定 水素適合性のある材料を例示基準で規定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 一般高圧ガス保安規則(以下「一般則」という)第7条の3第1項第1号、第2項第1号 ほか ・ コンビナート等保安規則(以下「コンビ則」という)第5条第1項第16号、第5条の2第1項 ほか ・ 例示基準「ガス設備等に使用する材料」⁴⁾⁵⁾ <p>(2) システムの設計 放出管の開口部の位置、大量流出防止措置を例示基準で規定 (放出管の開口部の位置)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 一般則第6条第1項第20号、第7条の3第1項第1号 ほか ・ コンビ則第5条第1項第22号、第5条の2第1項 ほか ・ 例示基準「安全弁、破裂板及び圧力リリーフ弁の放出管開口部の位置」⁴⁾⁵⁾ <p>(大量流出防止措置)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 一般則第7条の3第1項第13号、第2項第12号 ほか ・ コンビ則第7条の3第1項第13号、第2項第12号 ほか ・ 例示基準「蓄圧器出口等に設ける大量流出防止措置」⁴⁾⁵⁾ <p>(3) 情報の伝達 水素に関する経験者を保安監督者として選任することを省令で規定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 一般則第64条第2項第5号 ・ コンビ則第23条第2項第5号 |
|------|--|

7. ヒアリング調査

水素スタンドの放出管に関連する事故を経験した2社3水素スタンドで、放出管に関してヒアリング調査を行った。調査結果を、以下に示す。

(1) A社1水素スタンドの調査結果

① 過去のトラブル事例

他の当社の水素ステーションを含めて、圧力リリーフ弁のトラブル事例はない。なお、年1回の定期自主検査で、弁本体を解体するが、設置から年月がさほど経過していないため、当初のスタンドでは弁本体についても不具合、トラブルなどの事例はない。

② 圧力リリーフ弁の開閉状況の把握

圧力リリーフ弁の開閉状況については、制御盤で見ることができる。正確な時刻までは把握できないが、弁の開閉回数を表示するようになっており、その回数を管理している。

③ 放出管からの水素の放出

安全弁の作動による放出は、事故に該当すると認識している一方で、圧力リリーフ弁の作動による放出については、法令上、安全弁が作動する前に水素を放出するように規定されているため、圧力リリーフ弁の作動は正常な状態であると考えられる。

④ 事故後に講じた対策

2件の事故について、それぞれ対策が異なる。詳細は、以下のとおり。

【1 回目事故(事故コード:2020-039)】

- ・ 問題を起こしたソフトウェアをアンインストールした。
- ・ 緊急連絡体制を強化した。

【2 回目事故(事故コード:2020-479)】

- ・ PLC 入力用アナログモジュールを新品に更新した(ノイズ対策品への取替え)。
- ・ 圧力リリーフ弁の制御用電磁弁異常時作動の設定変更(ノーマルオープンからノーマルクローズ)を行った。

(2) B 社 2 水素スタンドの調査結果

① 過去のトラブル事例

圧力リリーフ弁の事故、トラブルなどの異常は、過去に発生した事象はなかった。

② 圧力リリーフ弁の開閉状況の把握

圧力リリーフ弁は、自力式のため、水素ガスの放出は、系内の圧力の保持状況によって、把握している。

③ 放出管からの水素の放出

圧力リリーフ弁の作動は、法令上、安全装置が作動する前に水素を放出するように規定されており、放出する行為については事業所の制御下であるため、事故には該当しないと考えている。

④ 事故後に講じた対策

- ・ 着火した場合、直ちに消火できるシステムを構築した。
- ・ 緊急時、水素スタンド関係者へ早急に連絡できるよう、見やすい場所に連絡先を掲示した。

8. 注意事項

水素スタンドの放出管について、注意事項を示す。

- ① 水素スタンドの放出管は、水素を安全に大気放出する重要な設備であるため、技術基準に従い、その機能を維持すること(基準適合義務の遵守)が大切である。
- ② 放出管の機能は、法令上、明確に定められていない。しかし、高圧ガス設備の系内からの水素を安全に大気放出させることができる機能が求められるため、事業者はその機能について検討を必要とする。また、放出管の開口部の位置は、例示基準を遵守する一方で、将来的に着火源など(ボイラー、非防爆形電気設備などで火気を使用するものおよび火気となるもの)が新設される可能性があるため、周辺の状況について十分に注意を必要とする。
- ③ 水素は、着火しやすいが、火炎は見えにくい。したがって、水素を水素スタンドの放出管から大気放出する場合も燃焼している可能性があるため、業界の関係者は、情報共有を行うとともに、燃焼を覚知する手段を検討する必要がある。
- ④ 水素スタンドの放出管から水素を放出する音、放出管の火炎などで、周辺住民を不安にさせないように設備、操作の対策はもちろん、そのリスクコミュニケーションも重要である。

参考文献

- 1) 令和 3 年度 高圧ガス事故事例データベース
- 2) 藤井亮、小林英男、山田敏弘、高圧ガス事故の統計と解析(全体)、高圧ガス、Vol.59、No.11、p.833-839(2022)
- 3) 「最近の水素スタンドにおける事故状況について」p.7-8、平成 27 年 3 月、経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/koatsu_gas/pdf/007_10_00.pdf

- 4) 一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について(例示基準)
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/hipregas/files/3997_001.pdf
- 5) コンビナート等保安規則の機能性基準の運用について(例示基準)
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/hipregas/files/20210315_hg_12.pdf
- 6) Aaron P. Harris and Chris W. San Marchi , “Investigation of the Hydrogen Release Incident at the AC Transit Emeryville Facility (Revised) “, SAND2012-8642 (2012)